

Artículo:

Sistema de control de inventario para el apoyo a la reforestación urbana

Inventory control system to support urban reforestation

Marco Antonio Aguirre-Lam¹, Ana Guadalupe Vélez-Chong¹, Laura Patricia Velez-Chong^{1*}, Leonardo Armando Cantú Lara¹, Denisse Alvarado-Castillo¹

Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social

Recibido: 07 de agosto de 2025
Aceptado: 25 de noviembre de 2025
Publicado: 10 de diciembre de 2025

Publicación continua editada por el **Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca**

Desv. Lindero Tametate, S/N
Col. La Morita
C.P. 92100
Tantoyuca, Veracruz, México.
Teléfono: 789 8931680, Ext.196.

Correo electrónico:
revistadigital@itsta.edu.mx

Sitio WEB
<https://itsta.edu.mx/revistadigital>

ISSN 2448-8003
Reserva de derechos al uso exclusivo
No. 04-2016-092313253300-203

Editor responsable:
Dr. Horacio Bautista Santos

Copyright: Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

¹ Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México.

* Autor correspondiente: laura.vc@cdmadero.tecnm.mx

Resumen: La plantación de árboles en entornos urbanos es esencial para combatir los efectos del cambio climático y fomentar un desarrollo sostenible; sin embargo, la escasa supervivencia de los árboles plantados, debido a la falta de seguimiento y cuidado, constituye un desafío significativo. Para resolver esta problemática es necesario establecer mecanismos que permitan aumentar la tasa de supervivencia de los árboles plantados. En este artículo se propone un sistema de inventario forestal el cual utiliza tecnologías de la información para su funcionamiento, permitiendo la gestión y supervisión de árboles en proyectos de plantación urbana. El sistema implementa una clasificación ABCD que es adaptada al contexto forestal, la cual representa una extensión del método ABC tradicional al incorporar categorías para árboles en riesgo de supervivencia. Al integrar tecnologías móviles con técnicas de clasificación adaptadas al contexto forestal, el sistema propuesto representa una alternativa para la gestión de inventarios en reforestación urbana, esta tecnología está diseñada principalmente para jóvenes y comunidades educativas y promueve valores universales relacionados al cuidado del medio ambiente. El análisis y desarrollo realizados en este trabajo representan una herramienta potencial para el apoyo de políticas públicas, proyectos comunitarios y programas de reforestación urbana.

Palabras clave: Reforestación urbana, control de inventario, diseño de software, aplicación móvil.

Abstract

Tree planting in urban environments is essential to combat the effects of climate change and promote sustainable development; however, the low survival rate of planted trees, due to a lack of monitoring and care, poses a significant challenge. To address this problem, it is necessary to establish mechanisms that increase the survival rate of planted trees. This article proposes a forest inventory system that uses information technologies to manage and monitor trees in urban planting projects. The system implements an ABCD classification adapted to the forestry context, which extends the traditional ABC method by incorporating categories for trees at risk of survival. By integrating mobile technologies with classification techniques adapted to the forestry context, the proposed system offers an alternative for inventory management in urban reforestation. This technology is designed primarily for young people and educational communities and promotes universal values related to environmental stewardship. The analysis and development carried out in this work represent a potential tool to support public policies, community projects, and urban reforestation programs.

Keywords: Urban reforestation, Inventory control, software design, mobile application.

Introducción

Uno de los principales problemas que abordan los programas de reforestación urbana es la supervivencia de los árboles que son plantados. Esta situación ocurre en gran medida por la falta de supervisión continua, seguimiento y atención que requieren los árboles, principalmente en los primeros años de vida (Comisión Nacional Forestal, 2021). En investigaciones recientes se ha encontrado que la supervivencia de los árboles depende ampliamente del mantenimiento y atención que reciben. En programas de reforestación las tasas de supervivencia superan hasta en un 80% cuando existe supervisión, sin embargo, cuando no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado, la tasa se reduce a menos del 30% después de los primeros años (Prieto et al., 2018). Debido a lo anteriormente expuesto, es primordial contar con un inventario apropiado para detectar árboles que requieren atención y puedan llevarse a cabo acciones de cuidado oportunas, esto permitirá mejorar la eficiencia de los programas de reforestación urbana (CORENADR, 2023).

La creación e implementación de sistemas informáticos para la supervisión y control de inventarios forestales es un instrumento esencial para optimizar la administración sostenible

de los recursos forestales, particularmente en entornos urbanos donde la supervivencia de los árboles plantados constituye un reto persistente. La incorporación de tecnologías móviles y plataformas en línea no solo facilita un registro de los ejemplares y su cuidado, sino que promueve la participación comunitaria y educativa, lo cual es un elemento esencial para el éxito de los programas de reforestación urbana (Angulo-Mina, 2025). Esta metodología tecnológica, además de optimizar la eficiencia en la gestión del inventario, está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que promueven la conservación y restauración de los ecosistemas terrestres (United Nations General Assembly, 2015). Dentro de los ODS de la Agenda 2030, la reforestación es un tema fundamental ya que se relaciona con diversos de estos objetivos, la difusión dentro del ámbito regional es de gran importancia para lograrlos (Graciano-Obeso et al., 2023; Graciano-Obeso et al., 2024)

Los inventarios forestales han evolucionado a través de los años, desde simples censos visuales hasta complejos procesos que integran diversos tipos de tecnología para el control y monitoreo de recursos naturales (Gobierno de Coahuila, 2025). Actualmente estas aplicaciones permiten obtener información respecto a la cantidad, distribución, estado de los diferentes tipos de ejemplares arbóreos, la composición de especies, su estado de salud y crecimiento, así como las características propias de cada uno, ayudando a que la planificación y gestión sean más sostenible (Basotec, 2023).

La información que se obtiene del uso de las aplicaciones de inventarios no sólo permite recuperar datos y generar estadísticos, sino que también posibilita la toma de decisiones informadas que pueden reducir los riesgos en los proyectos de plantación, esto a su vez puede aumentar la supervivencia y la productividad forestal (Eco-Logic, 2025). Aunado a lo anterior estas aplicaciones también proporcionan un soporte clave en la evaluación del impacto ambiental y en la medición del almacenamiento de carbono, lo cual se alinea a los objetivos globales para la mitigación del cambio climático.

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema tecnológico de control de inventario de árboles orientado a proyectos de reforestación urbana, el cual emplea una arquitectura cliente-servidor que integra una aplicación móvil para el usuario final con una plataforma web de administración. Esta propuesta tecnológica mejora el control y disponibilidad de información precisa, a su vez fomenta la interacción activa de la ciudadanía, especialmente estudiantes en el cuidado ambiental.

Marco teórico

La reforestación se refiere al procedimiento de plantación de árboles en zonas deforestadas y constituye una táctica esencial para la mitigación del cambio climático, a través de la absorción y almacenamiento de carbono atmosférico. Este aspecto ayuda a la mejora de la salud ambiental, la biodiversidad y el bienestar mediante la reducción de la incidencia de fenómenos climáticos extremos (CONAFOR, 2025).

El inventario forestal es de gran importancia para la supervivencia de los árboles, este control puede ser optimizado mediante métodos como el ABC, el cual es utilizado ampliamente en muchos sectores. De acuerdo a Delgado-Jiménez et al. (2024), la implementación del método ABC y otras prácticas organizacionales puede mejorar el control de inventarios, al dar prioridad a los recursos de mayor impacto. Estas técnicas pueden ser utilizadas en inventarios forestales para gestionar de manera más eficiente el mantenimiento, contribuyendo al éxito en la conservación ambiental.

Control de inventarios en la gestión forestal

De acuerdo a Müller (2019) y Delgado-Jiménez et al. (2024), para lograr un suministro apropiado de materiales, mejorar los servicios y optimizar los costos en la industria, se debe llevar a cabo un control de inventarios. En la gestión forestal, el inventario debe consistir en llevar un registro adecuado de los árboles plantados, así como de sus propiedades y la supervisión de sus necesidades de mantenimiento.

Para administrar los recursos naturales, se han adaptado diferentes tipos de métodos, tales como la clasificación ABC y sus variantes, que hacen posible que se les dé prioridad a los recursos y que se establezcan planes de revisión apropiados (Acosta, 2019). La implementación de aplicaciones informáticas que integran técnicas y recursos digitales para optimizar la eficiencia es necesaria debido a la supervisión de un gran número de árboles plantados en áreas urbanas.

Algunos trabajos recientes relacionados con sistemas de inventario forestal se mencionan a continuación.

Imaña et al. (2022) presentan un estudio que analiza verificadores de sostenibilidad en inventarios forestales realizado en Brasil. Los métodos que utilizan aplican procedimientos tales como: evaluación de parámetros dasométricos, geolocalización, comprobación de datos textuales y cartográficos, y la verificación de la calidad del inventario. En el análisis se

verifican los datos de campo y se utilizan indicadores para medir la sostenibilidad y corrección de los inventarios. Este estudio se realiza de manera manual, no aplica tecnologías de la información para llevarse a cabo.

El Inventario Forestal Nacional de España se encarga de monitorear los bosques para obtener información sobre la protección y evolución de los mismos. Los monitoreos se realizan por provincias cada 10 años. El muestreo obtenido permite comparar resultados de ciclos anteriores y de esta manera evaluar los cambios ocurridos en ese periodo. La información se almacena en bases de datos, mapas, tablas y otros tipos de medios los cuales son gestionados por un sistema y puestos a disposición del público para su consulta, lo cual permite mejorar la toma de decisiones en cuestión de conservación y planificación de los bosques españoles (Pescador et al., 2022) (Ministerio para la Transición Ecológica, 2025).

En (Sarango-Ordóñez, 2024) se presenta un análisis de los métodos de inventario forestal en el cual se analiza la evolución de las diversas técnicas existentes, desde las tradicionales hasta las avanzadas tales como LiDAR (*Light Detection and Ranging*) y el uso de drones. LiDAR es una tecnología de escaneo láser que mapea estructuras forestales, esta tecnología permite medir parámetros como la altura, el diámetro de la copa, entre otros con alta precisión. Otros métodos tecnológicos que abordan son los siguientes:

1. Escaneo laser terrestre que permite capturar datos tridimensionales de la masa forestal.
2. Drones para la recopilación de datos sobre áreas extensas o de difícil acceso.
3. Técnicas tradicionales y tecnológicas para mejorar los costos y eficiencia.

Este tipo de tecnologías mejora la estimación de biomasa y carbono y disminuye el tiempo de captura, sin embargo, pueden llegar a tener costos elevados tanto en la adquisición de la tecnología como en la capacitación del personal que la utiliza.

El Inventario Nacional Forestal y de Suelos es un sistema que realiza el monitoreo periódico de árboles a través de muestreo sistemático. Este muestreo abarca todos los ecosistemas de México, proporcionando información acerca de la ubicación, cantidad y calidad de los recursos forestales. La actualización de estos datos se realiza cada cinco años, esto asegura datos confiables para políticas ambientales y manejo sostenible. Este inventario se lleva a través de un sistema integral de información que aplica teledetección y análisis digital de imágenes satelitales (Gerencia de Sistema Nacional de Monitoreo Forestal, 2025).

La ONU ha establecido, a través de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2025, directrices y especificaciones para mejorar el análisis de datos a nivel mundial. Algunos de los protocolos que se manejan, integran los datos mediante tecnologías de percepción remota, mejorando las estrategias de conservación de los bosques (FAO 2024).

Tecnologías para el monitoreo y reforestación urbana

La aplicación de tecnologías avanzadas ha facilitado en gran medida la gestión de proyectos ambientales y de reforestación. Actualmente las aplicaciones móviles facilitan la adopción y registro de árboles integrando información georreferenciada, fotográfica y proporcionando notificaciones en tiempo real para el cuidado ambiental (Plant-for-the-Planet, 2025).

Además de las aplicaciones móviles, existen aplicaciones Web que facilitan la gestión y evaluación de proyectos ambientales. Estas aplicaciones facilitan la toma de decisiones ya que ofrecen reportes con información puntual respecto a los datos de inventarios y de reportes que han sido capturados en la misma plataforma (Bosques Sostenibles, 2025).

Como se ha mencionado anteriormente, las tecnologías actuales no solo permiten llevar a cabo el registro de inventario convencional, en algunas otras aplicaciones se han utilizado la integración de sensores IoT (Internet de las cosas), permitiendo medir y monitorear diversos tipos de variables, por ejemplo, la humedad, la temperatura, la luz solar, la calidad del aire entre otros, todo esto en tiempo real, mejorando la captura de datos y su precisión, mejorando los cuidados requeridos en el aspecto del cuidado ambiental (BioCarbon Engineering, 2025) (BreezoMeter, 2025).

Materiales y métodos

Esta sección describe la metodología empleada para la definición y el desarrollo del Sistema de inventario propuesto, así como el modelado y técnicas utilizadas.

Control de inventario y clasificación

Para el desarrollo del control de inventario se adaptó un método de clasificación análogo al análisis ABC (Delgado-Jiménez et al., 2024) (Serrano-Gonzalez et al., 2024) utilizado para los inventarios industriales, pero ajustado a parámetros biológicos y ecológicos que son relevantes para las especies arbóreas, incluyendo una clasificación adicional para abarcar todas las posibles opciones del inventario de acuerdo al estudio realizado.

En el análisis realizado no se aplicó el principio de Pareto (regla 80/20) como se realiza de manera tradicional en la clasificación de inventarios ABC. En este trabajo se adaptó este concepto de priorización para el contexto forestal, reconociendo que el valor no es solo económico, sino también ecológico y de supervivencia.

En este estudio se eligió el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) como uno de los principales parámetros para realizar la clasificación debido a lo siguiente:

- a) Es una métrica que es replicable para cualquier tipo de inventario, sin importar el lugar o el tipo de proyecto que se lleve a cabo.
- b) Permite realizar una medición de manera sencilla y no requiere una inversión mayor.
- c) Es un indicador que permite calcular la biomasa del árbol y por lo tanto su consumo de carbono.
- d) Un árbol con mayor DAP por lo regular implica una mayor edad, también puede indicar que tiene un dosel más amplio y por lo tanto proveer más sombra.
- e) El DAP se mide a partir de 1.3 m. del suelo y se utiliza para segmentar los árboles de acuerdo a su diámetro y rol ecológico.

En el esquema ABC se consideró la inclusión de una categoría D para manejar el seguimiento con respecto a los factores de riesgo y restauración. Este esquema facilita la toma de decisiones para la gestión del monitoreo ambiental.

Las clasificaciones que se definieron para la función del inventario forestal son las siguientes:

1. **Categoría A (Prioridad alta).** En esta categoría se clasifican los árboles o grupos de especies de alta importancia ecológica, tales como: especies dominantes, áreas con gran masa forestal, especies que proveen servicios ecosistémicos relevantes (p. ej. sumideros de carbono). Estas especies requieren ser monitoreadas constantemente ya que su supervivencia es vital para la salud del ecosistema forestal. Esta selección se basa en las especies endémicas de la zona con un DAP mayor (mayor a 30 cm.).
2. **Categoría B (Prioridad moderada).** Aquí se clasifican las especies comunes que contribuyen al funcionamiento del ecosistema, es decir, aquellas que proveen al hábitat, pero sin ser tan críticas como las clasificadas en la categoría A ni menos

importantes como la categoría C. Esta selección se basa en tener un DAP moderado (entre 15 a 30 cm.), en su alta frecuencia y en su rol ecológico.

3. **Categoría C (Prioridad Baja).** Estas son las especies que están clasificadas como menos establecidas o que indican regeneración, es decir, que tienen menor tamaño y biomasa. Estas pueden ser importantes, pero no requieren un seguimiento tan puntual como en la categoría B. Su selección se basa en tener un DAP pequeño (entre 5 a 15 cm.), y que se encuentre en parcelas de regeneración. Cabe mencionar que la prioridad es baja en mantenimiento inmediato en comparación con las otras categorías, pero no baja en importancia a largo plazo.
4. **Categoría D (Especial o Crítico).** Esta clasificación representa a árboles o especies afectadas por enfermedades, plagas o que requieren una atención especial y urgente (p. ej., árboles enfermos, zonas erosionadas, etc.). Esta categoría es considerada para comprender especies que el ABC convencional no considera pero que son esenciales para la gestión forestal adecuada. La clasificación de estas especies, al ser especial, se basa principalmente en presencia de daño, plagas o que se encuentran bajo amenaza. El monitoreo de los árboles de esta categoría es esencial para aplicar tratamientos, evaluar su eficacia y tomar decisiones rápidas, como la poda sanitaria, para evitar que las plagas se propaguen a árboles sanos. La frecuencia de monitoreo es alta para cumplir el objetivo de aumentar la supervivencia de estos árboles.

La categoría A clasifica árboles con DAP mayor, lo cual refleja el valor y el alto impacto en el ecosistema. La categoría C considera árboles pequeños que son etiquetados solo para monitoreo de regeneración. La categoría D, es una categoría cualitativa, se basa principalmente en la condición de la especie ya que por el DAP no se puede determinar la importancia o el estado del mismo. En la Tabla 1 se presentan las características generales de esta clasificación.

Algoritmo de clasificación

Para llevar a cabo la clasificación presentada en la Tabla 1, se diseñó el algoritmo que se presenta a continuación. Cabe mencionar que el administrador del sistema puede considerar asignar un árbol en específico en una categoría diferente a la asignada por el

algoritmo dadas las consideraciones de estado y situaciones particulares que se pueden presentar.

Tabla 1. Clasificación de inventario forestal propuesto

Clasificación	DAP	Criterio de clasificación	Frecuencia de monitoreo
A	> 30 cm.	Especies con prioridad alta: árboles maduros, especies clave, alta biomasa, servicios ecosistémicos relevantes.	Trimestral
B	15 - 30	Especies de prioridad media: árboles funcionales con rol ecológico importante y tamaño medio.	Trimestral (Los primeros 3 años), Semestral (Posterior a los 3 años)
C	5 - 15	Especies de prioridad baja: árboles jóvenes o en regeneración, menor biomasa y tamaño, importante para sucesión.	Trimestral (Los primeros 5 años), Semestral (Posterior a los 5 años)
D	Variable	Especies especiales: Árboles en condiciones especiales o riesgo crítico (por plagas, daño, restauración).	Semanal o quincenal, en base al estado

Entrada: Lista de árboles con atributos: DAP, estado fitosanitario, importancia ecológica, presencia de riesgos.

Algoritmo:

Para cada árbol:

Si estado es afectado (plaga, daño, bajo amenaza):

Clasificar como D

Sino si DAP > 30 cm. o biomasa alta o servicios ecosistémicos críticos:

Clasificar como A

Sino si DAP entre 15 y 30 cm y rol ecológico importante:

Clasificar como B

Sino si DAP entre 5 y 15 cm y regeneración/juvenil:

Clasificar como C

Sino:

Clasificar como “No clasificado” y notificar al administrador para su clasificación manual

Fin Si

Fin Para

Salida: Lista de árboles con clasificación ABCD.

Arquitectura del sistema

Para la arquitectura móvil desarrollada en este sistema se consideró un estudio previo sobre arquitecturas para aplicaciones móviles ecológicas para la reforestación urbana (Green Mobile Application for Urban Reforestation, GMAUR) (Velez-Chong, et al., 2024). En este estudio se realizó un análisis de las arquitecturas existentes enfocado en el desarrollo de software y de interfaces de usuario, con lo cual se obtuvo una arquitectura general para la aplicación y un diseño de interfaz de usuarios específicos. La arquitectura general propuesta para la aplicación móvil se muestra en la Figura 1.

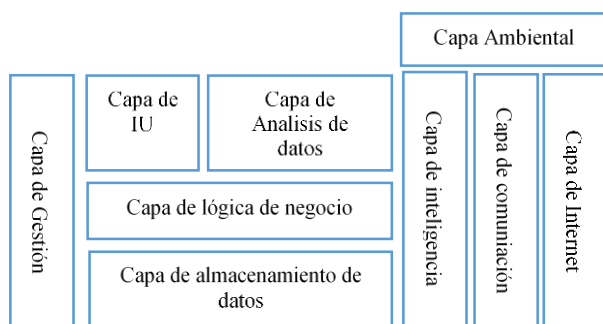


Figura 1. Arquitectura conceptual completa propuesta para la aplicación móvil.
Fuente: Tomado de Velez-Chong, et. al. (2024)

En el presente artículo sólo se considera el diseño e implementación de los módulos de Interfaz de Usuario, gestión, análisis de datos y comunicación que entran dentro del alcance de este trabajo.

El Módulo de Interfaz de Usuario (IU) define los componentes gráficos de la aplicación móvil que permiten la interacción con los usuarios.

El Módulo de Gestión se encarga del almacenamiento de los datos y comunicar información, acciones o notificaciones entre los demás módulos.

El Módulo de Análisis de Datos se encarga de generar información que ayuda a la toma de decisiones, tales como reportes y notificaciones.

Los módulos que comprenden las capas de comunicación e Internet permiten la conexión entre la aplicación móvil y un servidor HTTP. La conexión se realiza mediante la biblioteca de código abierto *Retrofit*, la cual simplifica la comunicación con *APIs RESTful* entre ambas aplicaciones mediante el paso de información entre objetos *Kotlin* y objetos *Json* de manera bidireccional, tal y como se muestra en la Figura 2.

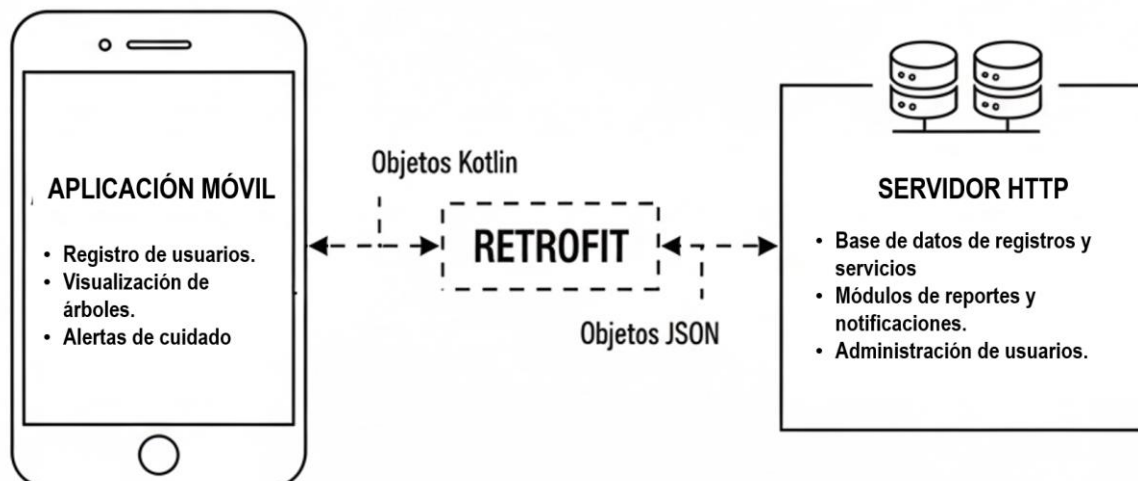


Figura 2. Arquitectura de la capa de comunicación.

La aplicación móvil permite realizar el registro y seguimiento a las especies arbóreas, el servidor HTTP permite el almacenamiento de la información de registro obtenida y la clasificación de los árboles de acuerdo al algoritmo presentado. Este servidor contiene módulos de reportes que ayuda a la toma de decisiones y a su vez envía notificaciones a la aplicación para que pueda dar el seguimiento a los árboles adoptados.

Resultados y discusión

Después de realizar el análisis de las arquitecturas móviles y realizar el diseño de comunicación para almacenamiento y notificación de servicios para el mantenimiento de los árboles, se desarrollaron los módulos para la aplicación móvil Android en el lenguaje de programación Kotlin. Algunos de los principales módulos que proporciona la aplicación se enumeran a continuación:

1. ***API de registro de usuario (adoptante).*** Permite registrar los datos del adoptante, p. ej. nombre, correo, número de celular, contraseña, etc.
2. ***API MisArboles (Inventario).*** Permite registrar y visualizar los árboles adoptados, así como sus características. Durante el registro se toman imágenes con el dispositivo y se obtienen datos de georreferenciación para ubicar el árbol, así como de datos generales, como el DAP, altura, estado fitosanitario, entre otros.
3. ***API HistorialServicios.*** Permite visualizar los servicios realizados a los árboles, así como las características obtenidas al momento del servicio realizado. Los avisos de servicio son enviados por el servidor HTTP mediante notificaciones PUSH.

En la Figura 3 se muestran algunos ejemplos de las pantallas de interfaz de usuario de la aplicación móvil.

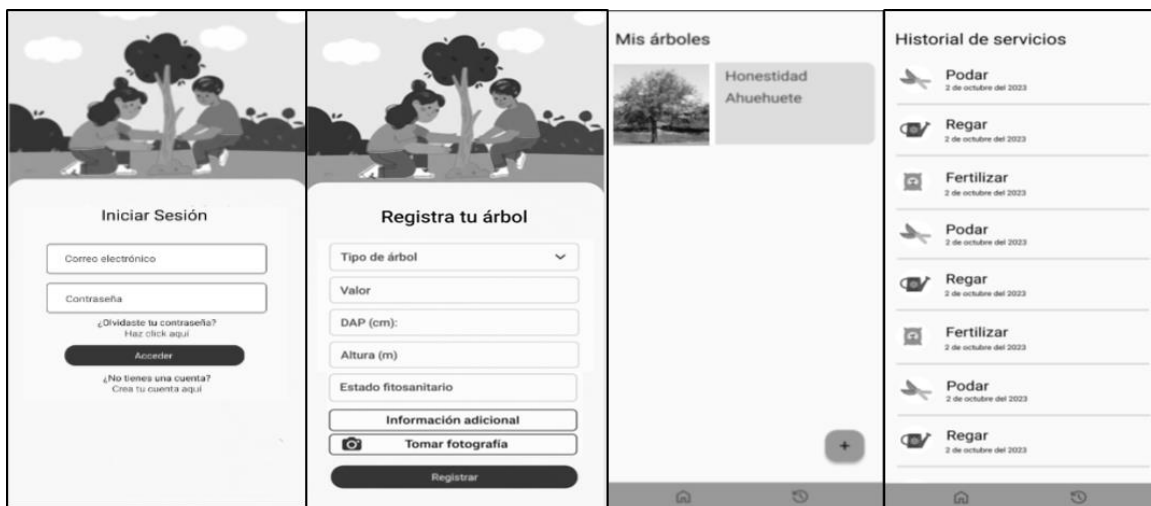


Figura 3. Algunos módulos de la aplicación móvil.

Por otra parte, el servidor HTTP se encarga de realizar tareas correspondientes a la administración, al almacenamiento y consulta de la información registrada por la aplicación móvil. Algunas de las actividades que realiza el servidor son las siguientes:

Inventario. Contiene el inventario de árboles que son registrados. Con la información almacenada de las características de los árboles, el servidor envía notificaciones al adoptante para que se realicen acciones de supervisión y mantenimiento. Parte de la información que se registra en el inventario es la siguiente:

- Datos de identificación: Nombre común, nombre científico, imagen del árbol.
- Métricas y estado: Altura, diámetro, estado fitosanitario.
- Requerimientos de cuidado: Tipo de suelo, frecuencia de riego, tipo de poda, método de fertilización, entre otras.

Árboles adoptados. Permite consultar y visualizar los árboles adoptados, ya sea por valores, tipos de árboles o por adoptante. Este inventario contiene la información contenida en el catálogo para cada árbol adoptado con su imagen y georreferencia.

Reportes. Contiene una lista de reportes que permiten al administrador analizar el estado del proceso de reforestación, así como facilitar la toma de decisiones.

Prueba piloto

Para validar que el sistema es considerado una herramienta viable y funcional, respecto a manera tradicional de captura de datos de campo, se realizó una prueba piloto seleccionando 60 estudiantes de quinto semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas computacionales del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ITCM).

El estudio se realizó durante cuatro semanas y los grupos de muestra fueron clasificados de la siguiente manera:

- a) **Grupo experimental.** Tiene 30 estudiantes que utilizan el sistema para registrar árboles que se encuentran en el ITCM.
- b) **Grupo de control.** Tiene 30 estudiantes que entregan un reporte semanal utilizando un software de productividad (Microsoft Excel), los reportes fueron entregados vía correo electrónico.

Cabe mencionar que el diseño de esta prueba no busca validar la usabilidad final, sino validar que el sistema era técnicamente viable y superior al método tradicional. En una siguiente fase se considerará abordar la capacitación del usuario para la audiencia general, asegurando así su escalabilidad y adopción de la aplicación por la comunidad.

Para medir la validación del sistema se utilizaron las siguientes métricas:

1. **Tasa de cumplimiento.** Mide la eficiencia del proceso. Consiste en la cantidad de estudiantes que entregaron su reporte a tiempo del total de estudiantes que deben reportar semanalmente.
2. **Integridad de la información.** Mide la calidad y precisión de la información recolectada. Es la cantidad de reportes completos del total de reportes entregados.
3. **Reporte de fallos.** Mide de manera cuantitativa y cualitativa la robustez del software. Se calcula con la cantidad de fallos y la descripción del fallo o sugerencia de mejora.
4. **Usabilidad.** Mide la satisfacción del usuario con respecto al uso de la interfaz. Se calcula con una encuesta posterior a la prueba (utilizando la escala Likert (Likert, 1932)).

Los resultados obtenidos de la prueba realizada se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos

Métrica	Grupo de control	Grupo experimental
Tasa de Cumplimiento	47% (14/30)	93% (28/30)
Integridad de la información	36% (5/14)	96% (27/28)
Reporte de fallos	N/A	2 fallos y 6 sugerencias
Usabilidad	1.9	4.1

El grupo experimental mostró una tasa de cumplimiento del 93% lo cual fue mayor comparado al grupo de control que solo obtuvo una tasa de solo el 47%. De los reportes entregados por el grupo experimental, el 96% estaban completos a diferencia del grupo de control, en donde solo el 36% de los reportes estaban completos, con omisiones frecuentes sobre todo en la especificación de las coordenadas y el estado del árbol. En el reporte de fallos, sólo se está evaluando el sistema desarrollado no se reporta fallos para el grupo de control. Dado que los usuarios del sistema son estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales, aplicando conocimientos de Aseguramiento de la Calidad (Sommerville, 2004), identificaron 2 fallos, dentro de los cuales se incluye un fallo que cerraba la aplicación si se intentaba realizar un registro sin haber activado el GPS, además de 6 sugerencias de mejora, entre ellas, cuestiones de seguridad como el uso de *OAuth* de Google y la distribución de los elementos de la interfaz. Respecto a la satisfacción de los estudiantes, el grupo experimental calificó el sistema con un promedio de 4.1, usando términos como "eficiente" y "rápido", mientras el grupo de control calificó el método manual con un promedio de 1.9, usando términos como "tedioso".

En la Figura 4 se muestra un ejemplo del reporte de los registros realizados por los estudiantes, este reporte se presenta en el lado del servidor HTTP.

ID	Valor Representado	Nombre común	DAP (cm)	Clasificación DPA	Fecha plantado ↑	Estado	Próx. Servicio	Acciones
151	Respeto	Ceiba	32.5	Clasificación A	2005-06-15	Adulto	2025-10-30	Editar
152	Honestidad	Ébano	21.0	Clasificación B	2012-11-10	Vivo	2025-11-01	Editar
153	Libertad	Anacahuita	8.5	Clasificación C	2021-03-20	Vivo	2025-11-04	Editar
154	Justicia	Mezquite	19.2	Clasificación D	2014-07-01	Con plaga	2025-11-08	Editar
155	Tolerancia	Guayacán	12.0	Clasificación A	2019-05-02	Vivo	2025-10-30	Editar
156	Equidad	Palo de Rosa	6.1	Clasificación D	2022-09-15	Vivo	2025-11-08	Editar

Figura 4. Reporte de inventario de árboles del servidor HTTP.

El diseño de la arquitectura presentada, muestra que es posible adaptar conceptos de control inventarios industriales a la gestión de inventarios ambientales, lo cual facilita el control en el seguimiento del mantenimiento de árboles de acuerdo a las clasificaciones implementadas. Al realizar la clasificación por relevancia ecológica, se mejora el mantenimiento de las especies forestales, al identificar cual especie tiene mayores necesidades de atención, con este se reduce la mortalidad de los mismos.

La integración de las Tecnologías de la Información en el control de inventarios ambientales lo cual facilita el monitoreo dinámico, esto puede reducir la pérdida de árboles por falta de mantenimiento. También el uso de tecnologías móviles y servidores permite escalar el uso del sistema implementado en diferentes localidades en donde se encuentran diversas especies y entornos sociales.

Durante el estudio presentado, la clasificación de inventarios ABC fue adaptada para la gestión ambiental de inventarios forestales, esto permite mejorar el uso racional del tiempo y de los recursos, de esta manera los esfuerzos y el trabajo se puede aplicar donde más se necesita.

La inclusión de la clasificación D aporta un valor adicional frente al modelo ABC tradicional, dado que permite la identificación de los árboles en condiciones críticas, esto facilita el manejo más adaptativo de la reforestación urbana.

Uno de los objetivos del desarrollo de este sistema de control de inventario ambiental es facilitar el acceso a la educación ambiental, aunque esto implica un desafío en cuestión de la capacitación y adaptación cultural, es de gran importancia llevar a cabo este tipo de acciones para mejorar las condiciones ambientales actuales.

Los resultados de la prueba realizada en la evaluación de la tasa de cumplimiento muestran que la aplicación móvil es una herramienta eficiente para la recolección de datos en comparación del método tradicional. De la misma manera la experiencia de usuario muestra que la aplicación facilita el registro de la información, causando una mejor satisfacción del usuario.

Conclusiones

En este trabajo se presentó el diseño e implementación de un sistema tecnológico de control de inventario para árboles para proyectos de reforestación urbana. Este proyecto

además de mejorar el mantenimiento forestal, busca promover la interacción activa de la ciudadanía, especialmente estudiantes en el cuidado ambiental.

El uso de tecnologías de la información para el control e inventario de árboles en proyectos de reforestación urbana es vital para aumentar la eficiencia y tasa de supervivencia de los mismos al proveer de manera dinámica información puntual respecto a los tiempos de seguimiento y atención que requieren los árboles.

Adaptar los métodos tradicionales de inventario, como el análisis ABC, a los inventarios forestales son efectivos, ya que, al establecer una clasificación con base en la necesidad de mantenimiento permite priorizar los recursos y mantener una mejor vigilancia y seguimiento a las especies que lo requieren.

Como trabajo futuro se contempla la integración de sensores IoT y algoritmos de inteligencia artificial para monitoreo automático y predicción.

Agradecimientos

Los autores agradecen al “Programa para el Desarrollo Profesional Docente” (PRODEP), al TECNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Madero y al Laboratorio Nacional de Tecnologías de la Información (LaNTI) por el apoyo recibido en el desarrollo del proyecto “Agenda 2030 y propuesta tecnológica de soporte a la reforestación urbana” de la Convocatoria de Fortalecimiento de Cuerpos Académicos PRODEP 2023.

Referencias bibliográficas

- Acosta, R. M. (2019). Análisis de la cadena de suministro por clasificación ABC: El caso de una empresa mexicana. *Revista Académica de Negocios*, 4(2), 83-94.
- Angulo-Mina, D., Sangacha-Guamán, D., Guano-Coca, L., Huatatoca-Mamallacta, G., & Núñez-Naranjo, A. (2025). La Educación Ambiental Apoyada por Recursos Tecnológicos Interactivos. *Digital Publisher CEIT*, 10(1-2), 65-80, <https://doi.org/10.33386/593dp.2025.1-2.2951>
- Basotec (2023). Qué es un Inventario Forestal. <https://basotec.com/que-es-un-inventario-forestal/>
- BioCarbon Engineering (2025). Restauración de ecosistemas a escala global con drones. <https://www.weforum.org/organizations/biocarbon-engineering/>

- Bosques Sostenibles (2025). Web App de gestión de compensación de CO₂.
<https://www.bosquessostenibles.com/app-web/>
- BreezoMeter (2025). Documentación de la API de calidad del aire.
<https://docs.breezometer.com/>
- CORENADR (2023). CDMX: Líder Nacional en Supervivencia de Plantas de Reforestación.
<https://altepctl.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/ciudad-de-mexico-lider-nacional-en-supervivencia-de-plantas-de-reforestacion>
- Comisión Nacional Forestal (2025). Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conafor/acciones-y-programas/programa-apoyos-para-el-desarrollo-forestal-sustentable>
- Delgado-Jiménez, B. G., Meléndrez-Rojas, J. A., Loredó-Medina, R., & Morales-Parra, J. C. (2024). Optimización del control de inventario en almacén mediante la implementación del método ABC y 5's en empresa comercializadora de insumos. *Revista Interdisciplinaria De Ingeniería Sustentable Y Desarrollo Social*, 10(1), 355–372. <https://doi.org/10.63728/riisds.v10i1.52>
- Eco-Logic (2025). Inventarios forestales y su importancia en el manejo de plantaciones y bosques naturales. <https://eco-logic.com.co/inventarios-forestales-y-su-importancia-en-el-manejo-de-plantaciones-y-bosques-naturales/>
- FAO (2024). Evaluación de los recursos forestales mundiales - Directrices y especificaciones para 2025.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/77cd66a1-5fd0-46ad-b822-b0726ae7f638/content>
- Gerencia de Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (2025). Información sobre el Inventario Nacional Forestal. SNIGF. Recuperado el 13 de septiembre de 2025, de <https://old-snigf.cnf.gob.mx/inventario-nacional-forestal/>
- Gobierno de Coahuila (2025). Inventario Estatal Forestal. <https://sma.gob.mx/inventario-forestal/>
- Graciano-Obeso, A., Báez-Higuera, J. A., & López-Atondo, J. U. (2023). Conocimiento de la Agenda 2030 y Objetivos de Desarrollo Sostenible en estudiantes de educación superior. *Revista Interdisciplinaria De Ingeniería Sustentable Y Desarrollo Social*, 9(1), 326–335. <https://doi.org/10.63728/riisds.v9i1.120>

- Graciano-Obeso, A., Alzate-Espinoza, J. H., Velázquez-Cerecés, C. I., & Alejandro-Rodríguez, M. (2024). Percepción de estudiantes de educación media superior hacia la Agenda 2030 y el desarrollo sostenible. *Revista Interdisciplinaria De Ingeniería Sustentable Y Desarrollo Social*, 10(1), 512–521. <https://doi.org/10.63728/riisds.v10i1.62>
- Imaña, J., Ferreira, M., Riesco, G., & Rojo, A. (2022). Verificadores de sostenibilidad en inventarios forestales del bosque amazónico en el estado de Mato Grosso (Brasil). *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(72), 30-54. Epub 22 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i72.1179>
- IMEPLAN (2019). Catálogo de biodiversidad zona conurbada Altamira-Ciudad Madero-Tampico. Instituto Metropolitano de planeación del sur de Tamaulipas. <http://imeplansurdetamaulipas.gob.mx/proyectos/catalogo-de-biodiversidad/>
- Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1-55
- Ministerio para la Transición Ecológica.(2025). Inventario Forestal Nacional. Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-forestal-nacional.html>
- Muller, M. (2019). *Essentials of inventory management* (3rd ed.). HarperCollins Leadership.
- Pescador, D. S., Vayreda, J., Escudero, A., & Lloret, F. (2022). El potencial del Inventario Forestal Nacional para evaluar el estado de conservación de los tipos de Hábitat forestales de Interés Comunitario: nuevos retos para cumplir con las políticas de conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 31(3), 2384. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2384>
- Plant-for-the-Planet (2025). Trillion Trees for Climate Justice. <https://www.plant-for-the-planet.org/>
- Prieto, J., Goche, P., & colaboradores. (2018). Monitoreo de la supervivencia de una reforestación con especies nativas. *Revista Tlalli*, 2, 97–117. <https://doi.org/10.22201/ffyl.26832275e.2019.2.1087>

- Sarango-Ordóñez, J. P. (2024). Transformación de los métodos de inventario forestal desde técnicas tradicionales hasta herramientas tecnológicas. *Horizon Nexus Journal*, 2(1), 19-30. <https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n1/31>
- Serrano-González, S., Maturano-Maturano, B. A., & Castellanos-Lopez, L. Y. (2024). Implementación de Inventarios ABC en Almacén de Grupo Spring. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 6513-6528. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9185
- Sommerville, I. (2004). *Ingeniería del software*. Pearson Educación.
- United Nations General Assembly (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development (A/RES/70/1)*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Vélez-Chong, A., Velez-Chong, L., Rangel-Valdez, N., Jaimes-Santos, S., Morales-Rodriguez, L., Aguirre-Lam, M. (2024). Analysis of Architectures for Green Mobile App on Urban Reforestation. En *13th International Conference On Software Process Improvement (CIMPS)*, 2024, 103-109. doi: <https://doi.org/10.1109/CIMPS65195.2024.11095962>.